# UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE

# ERREGUNG DER ELEKTRICITÄT DURCH MECHANISCHE MITTEL.



---

**Inaugural-Dissertation**

zur Erlangung

der Doctorwürde

der philosophischen Facultät der kgl. Ludwig-Maximilians-Universität zu München vorgelegt

von

SIGISMUND FLORENTIN v. WROBLEWSKI.



**München.**

Druck von C. R. Schurich.

1874.

Seinem väterlichen Freunde

HERRN

# CYPRIAN v. WIERCINSKI

aus Liebe und Dankbarkeit

gewidmet

*vom Verfasser.*

I.

In der ganzen Lehre von der Elektricität giebt es kein Capitel, welches bis jetzt noch so wenig erforscht worden ist, wie das über die Erregung der Elektricität durch mechanische Mittel. Dem vollständigen Mangel an einschlägigen sicheren Untersuchungsmethoden auf diesem Gebiete ist es offenbar zuzuschreiben, dass wir die Wirkungen der statischen Elektricität viel besser kennen als die Bedingungen, unter welchen letztere zum Vorschein kommt.

Um diese Lücke auszufüllen, stellte ich im physikalischen Institute der Universität zu München, wo mir sämmtliche Hülfsmittel und Apparate auf's Liberalste zur Verfügung gestellt wurden, einige Versuche an, die diese Bedingungen bei einer Klasse von Körpern nachgewiesen haben.

Meine Absicht war zuerst, die Erregung der Elektricität durch Druck[1]) zu untersuchen, allein schon nach den ersten Versuchen gewann ich die Ueberzeugung, dass jede Untersuchung dieses Vorganges als nicht vorwurfsfrei zu betrachten sei, so lange man die Gesetze der Erregung der Elektricität durch Reibung nicht festgestellt hat, da es unmöglich ist, zwei zusammenzudrückende Körper derart aneinander zu legen, oder, nachdem man sie zusammengepresst hat, derart von einander zu trennen, dass zwischen ihnen keine, wenn auch sehr kleine, gleitende oder centrale Reibung stattfände. Es liegt auf der Hand, dass so lange man den Antheil dieser Reibung an der Erregung der zu beobachtenden Elektricitätsmenge nicht kennt, man keine

1) Riess. Reibungselektricität Bd. 2, S. 403.

ſichere Schlüſſe über die Erregung ſelbſt ziehen kann. Und grade dieſer Umſtand iſt von den Naturforſchern, die ſich mit dieſem Gegenſtande beſchäftigt hatten, nicht berückſichtigt worden. So z. B. legte LIEBES, nachdem er eine Kupferſcheibe an den BENNET'ſchen Elektrometer angeſchraubt hatte, auf dieſelbe ein Stück Taffet, welcher mit Kautſchuk überzogen war. Als er den Taffet mit der Hand drückte und dabei ſich Elektricität entwickeln ſah, ſchrieb er es der Wirkung »der durch den Druck begünſtigten Berührung (contact favorisé par la pression)« zu [1]). Gleichzeitig ſtellte er den Satz auf, daſs wenn harzige Körper (wie z. B. Kautſchuk und Wachs) gegen irgend einen anderen Körper gedrückt werden, ſie eine Elektricitätsart entwickelten, die der beim Reiben derſelben Körper hervorgebrachten entgegen geſetzt ſei [2]) — ein Satz, deſſen Unrichtigkeit zuerſt PÉCLET und viele Jahre ſpäter BUFF [3]) durch ihre Verſuche zur Feſtſtellung der Identität der Berührungs- und der Reibungselektricität auſser Zweifel dargethan haben. HAÜY drückte gut iſolirende Kryſtalle zwiſchen den Fingern, oder mit andern weichen Körpern, und als er ſie elektriſch fand, ſchrieb er dieſe Erregung der Elektricität ganz einfach dem Drucke zu. Die Art der Elektricität, die die Kryſtalle bei dieſer Erregung annahmen, war immer dieſelbe wie beim Reiben [4]). ANTOINE BECQUEREL's Verfahren bei den Verſuchen zur Ermittelung der Geſetze der Elektricitätserregung durch Druck [5]) war nicht viel beſſer und die Reſultate, zu denen

1) Journal de physique par Delamétherie. Bd. 59 (1804), S. 154.

2) LIEBES. Histoire philosophique des progrès de physique. Paris 1810. Bd. 4, S. 74.

3) LIEBIG's Annalen. Bd. 114 (1860).

4) HAÜY. Traité des caractères physiques des pierres precieuses. 1817. S. 119. VOLPICELLI hat unlängst nachgewieſen, daſs die Elektricität, welche beim Drucke des Kalkſpathes entſteht, nicht durch Druck, ſondern durch Reibung erzeugt wird. Comptes rendus. Bd. 46 (1858), S. 533.

5) Annales de Chimie et de physique. Bd. 22 (1823).

er damals gekommen war (d. h. dafs die erregten Elektricitätsmengen dem Drucke proportional feien), find fchon von den franzöfifchen Phyfikern in Zweifel geftellt worden.

Alles das veranlafste mich, meine Aufmerkfamkeit vor Allem der Erregung der Elektricität durch Reibung zuzuwenden. Die Refultate meiner Unterfuchungen darüber bilden den Gegenftand vorliegender Abhandlung. Bevor ich aber zur Befchreibung meiner Unterfuchungsmethode übergehe, will ich hier einer Arbeit erwähnen, die den Ausgangspunkt für meine Unterfuchungen bildete. Es ift eine werthvolle Unterfuchug von PÉCLET[1]), dem einzigen Phyfiker, welcher diefe am längften bekannte Erregungsart der Elektricität quantitativ unterfucht hat. Die Vorrichtung, welche er zu feinen Verfuchen benutzte, beftand aus einer Elektrifirmafchine, die fich nur dadurch von der von NAIRNE[2]) unterfchied, dafs ihr Cylinder ftatt hohl zu fein, maffiv, mit einer durch Poliren ziemlich regelmäfsig bearbeiteten Oberfläche verfehen und um eine eiferne Achfe drehbar war. Oben, über dem Cylinder, befand fich das Reibzeug, deffen Entfernung von dem Cylinder und, folglich, deffen Druck auf denfelben durch Belaften mit Gewichten beliebig geändert werden konnte. Die eine der Mefsmethoden, welche PÉCLET benutzte, beftand darin, dafs die Elektricität des Conductors im Innern einer Leydener Flafche fich fammelte, deren äufsere Belegung vollkommen zur Erde abgeleitet war und fich aufserdem in Verbindung mit einer Metallkugel befand, deren Entfernung von dem Knopfe der Flasche nach Belieben geftellt werden konnte. Hat die Dichtigkeit der Elektricität im Innern der Flafche einen gewiffen Grad erreicht, so entlud fich die Flafche von felbft und aus der Anzahl der auf diefe Weife entftandenen Entladungen konnte man einen Schlufs machen auf die Menge der durch die Reibung

1) Ann. d. Chim. et d. ph. Bd. 57 (1834); auch in PÉCLET's Traité de physique, 3 Edition Bd. 2, S. 116.

2) RIESS. Reibungselektricität Bd. 1, S. 284.

erregten Elektricität. PÉCLET hat gefunden, daſs im Groſsen und Ganzen auf die Erregung der Elektricität durch Reibung weder die Geſchwindigkeit, mit welcher die Körper beim Reiben aneinander gleiten, noch der Druck, unter welchem das Reiben ſtattfindet, von irgend welchem Einfluſs ſeien. Dieſe Unterſuchungen in Verbindung mit den andern, die er über die Berührungselektricität veröffentlichte, resümirte er ſpäter in einer kurzen Note[1]) folgendermaſſen: ». . . la production de l'électricité par le frottement de glissement, de roulement, ou par la pression, ne provient ni d'une action chimique ni de l'ébranlement des molécules des corps; . . . elle résulte du fait seul de contact; . . . l'accroissement de pression ou le mouvement pendant le contact n'a d'autre effet que d'augmenter les points de contact . . .«

2.

Als Meſsinſtrument benutzte ich einen Quadrantelektrometer, welchen Hr. Prof. KIRCHHOFF vor einigen Jahren conſtruiren lieſs. Dieſer in ſeinem Prinzipe ſehr ſinnreiche Apparat leiſtet bei den Vorleſungen bekanntlich ſehr gute Dienſte; jedoch als Meſsinſtrument bei wiſſenſchaftlichen Unterſuchungen bietet ſein Gebrauch äuſserſt groſse Schwierigkeiten, zu deren Beſeitigung ich mich veranlaſst ſah, an dem Apparate einige Vereinfachungen vorzunehmen.

Den weſentlichen Theil dieses Apparates[2]) bildet ein gut iſolirter Meſſingkreis, der in vier in einer Ebene gelegene Quadranten zerfällt. Je zwei nicht neben einander liegende Quadranten ſtehen mit einander in leitender Verbindung. Der Meſſingkreis beſteht alſo aus zwei Quadrantenpaaren, von denen jedes mit einer Meſſingelektrode verſehen iſt. Ueber dieſem Kreiſe iſt ein aus dünnem verſilbertem Kupferdraht gefertigter Wagebalken, der an ſeinen beiden

1) Comptes rendus. Bd. 7 (1838), S. 624.

2) Dieſer Apparat iſt meines Wiſſens noch nirgends beſchrieben worden.

Enden kleine Scheiben aus Staniol trägt, unifilar oder bifilar suspendirt. Durch Drehung des Torſionskreiſes wird der Wagebalken ſo eingeſtellt, daſs er möglichſt genau über zwei von den vier Spalten, die den Kreis in Quadranten theilen, zu hängen kommt. Die Fortſetzung des Fadens, an welchem der Balken befeſtigt iſt, bildet (nach unten) ein kurzer verſilberter Kupferdraht, an dem ein kleiner Planglasſpiegel in vertikaler Richtung angebracht iſt, ſodann ein Platindraht, deſſen unteres Ende, mit einem die Rolle eines Dämpfers ſpielenden Platinſcheibchen verſehen bis zur Schwefelſäure hinunterreicht, die ſich in einem unten ſtehenden Glaſe befindet. Dieſes Glas ſteht innerhalb einer Leydener Flaſche und hat auf der äuſseren Fläche eine Staniolbelegung, welche durch ein Platinſtreifchen mit der Schwefelſäure im Innern des Glaſes in Berührung gebracht wird. Die äuſsere Belegung der Leydener Flaſche ſteht mit der Erde in Verbindung. Die ganze hier beſchriebene Vorrichtung iſt in einem, dem Zwecke des Apparates entſprechenden, cylinderartigen Meſſinggehäuſe placirt. Ladet man die innere Belegung der Leydener Flaſche z. B. mit poſitiver Elektricität, so verbreitet ſich letztere über die Staniolbelegung der äuſseren Fläche des Glaſes, in welchem die Schwefelſäure ſich befindet, ferner den Platinſtreifen und die Schwefelſäure bis zum Balken, welcher auf dieſe Weiſe eine, beſtändig im Abnehmen begriffene, Menge einer freien nicht gebundenen poſitiven Elektricität enthält. Theilt man jetzt einem Quadrantenpaare eine zu unterſuchende Elektricitätsmenge mit, ſo wird der Balken, je nach der Art dieſer Elektricität, in eine oder in die andere Richtung gedreht. Die Stellung des Wagebalkens kann man, wie ich es bei meinen Verſuchen gethan habe, nach der Methode der Winkelmeſſungen mit Planſpiegel, Fernrohr und Scala ableſen. Bei meinen Verſuchen befand ſich letztere in einer Entfernung von 1,983 Meter vom Spiegel.

Wären die beiden Quadrantenpaare und der Balken vollkommen ſymmetriſch hergerichtet, lägen erſtere in einer

und derselben Ebene und wäre es möglich, letzteren genau in einer und derselben Entfernung von beiden Quadrantenpaaren einzustellen, so würde dann eine Elektricitätsmenge $\mu$, je nachdem sie dem einen oder dem anderen Quadrantenpaare mitgetheilt worden ist, eine gleichgrofse Drehung des Balkens und des Spiegels in einem oder dem anderen Sinne hervorrufen. Da aber die verlangte Symmetrie im Apparate nicht existirt und demzufolge die Möglichkeit, eine richtige Lage für den Wagebalken zu finden, rein illusorisch ist, so tritt hier ein Umstand auf, der den Gebrauch des Apparates ungemein schwierig macht. Die Elektricität des Wagebalkens wirkt nämlich influenzirend auf die beiden Quadrantenpaare und da letztere nicht in derselben Entfernung vom ersteren sind, so sind auch die durch die Influenz in den Quadrantenpaaren hervorgerufenen Zustände ungleich. In demjenigen von ihnen, dem der Balken etwas näher steht, ist, dem bekannten Gesetze nach, eine gröfsere Menge der ungleichnamigen Elektricität vorhanden[1]). Demzufolge mufs auch die Anziehung des Balkens nach dieser Seite stärker sein. Und in der That, im selben Augenblicke, in welchem man die Leydener Flasche ladet, bemerkt man eine Drehung des Balkens in der Richtung nach diesem Quadranten und die Ruhelage des Balkens ist jetzt ganz verschieden von derjenigen, die er besafs, als die Flasche noch nicht geladen war. Seine jetzige Ruhelage oder, mit andern Worten, die Zahl, welche man jetzt am Spiegelbilde der Scala im Fadenkreuze sieht, hängt nicht nur von den Kräften ab, die seine ursprüngliche Gleichgewichtslage bedingt haben, sondern auch von der Menge der jetzt in dem Wagebalken enthaltenen freien Elektricität und von den Mengen der entgegengesetzten Elektricität, welche durch die Influenz in den beiden Quadrantenpaaren erzeugt wurde. Dieser Incoincidenzwinkel, (d. h. der Winkel, den eine solche

1) Die gleichnamige wird nach der Elektrode abgestofsen und dort zerstreut.

geänderte Stellung des Balkens mit ſeiner urſprünglichen Gleichgewichtslage bei der ungeladenen Flaſche bildet) iſt eine gewiſſe Function der Ladung der Flaſche. Mit der Gröſse der Ladung nimmt die Gröſse des Winkels zu.

Bei dieſer neuen Stellung ruft eine Elektricitätsmenge $\mu$ vier ihrer Gröſse nach verſchiedene Ausſchläge hervor, je nachdem ſie poſitiv oder negativ iſt und je nachdem ſie dem einen oder dem anderen Quadrantenpaare mitgetheilt worden iſt. Denn angenommen, der Wagebalken enthalte poſitive Elektricität und befinde ſich näher zum Quadrantenpaare *A* als zu dem *B*, ſo ruft eine Elektricitätsmenge $\mu$, nachdem ſie dem Quadrantenpaare *A* mitgetheilt worden iſt, offenbar einen andern Ausſchlag des Balkens hervor, als wenn ſie dem Quadrantenpaare *B* mitgetheilt worden wäre. Beſchränkt man nun die Verſuche auf das eine und daſſelbe Quadrantenpaar, wie ich es gethan habe, ſo hängt die Gröſse des zu beobachtenden Ausſchlages jetzt von dem Vorzeichen von $\mu$ ab. Findet nämlich die Drehung des Wagebalkens im Sinne des Incoincidenzwinkels ſtatt, ſo iſt ſie kleiner, als wenn der Ausſchlag nach der Seite der urſprünglichen Gleichgewichtslage (bei der ungeladenen Flasche) ſtattgefunden hätte. Zieht man nun in Betracht, daſs dieſe beiden Ausſchläge für jeden Werth der Ladung der Flaſche anders ſind und daſs dieſe Ladung ungemein raſch abnimmt, d. h. alle möglichen Werthe von den urſprünglichen bis zu *0* der Reihe nach binnen relativ ſehr kurzer Zeit annimmt, ſo kann man leicht begreifen wie ſchwierig es iſt, mit dieſem Apparate irgend welche vergleichbare Meſſungen anzuſtellen.

Wäre es möglich, die Ladung der Flaſche conſtant zu machen, ſo würde man dann eine Correctionstabelle conſtruiren können, mit Hülfe deren man die Drehungen des Wagebalkens nach einer und der andern Seite, bei einer gegebenen Ladung der Flaſche, auf ein und daſſelbe Maas reduciren könnte. Die Conſtruction einer ſolchen Tabelle würde aber vorausſetzen müſſen, daſs in den

Kräften, die die urſprüngliche Gleichgewichtslage des Wagebalkens (d. h. bei der ungeladenen Flaſche) bedingen, ſowie in dem drehbaren Syſtem keine Aenderung weder mit der Zeit noch mit den Schwankungen der Temperatur ſtattfände.

Zu dieſem Zwecke ſuchte ich zunächſt die Empfindlichkeit des Apparates unabhängig von der Stärke der Ladung der Flaſche nach Möglichkeit zu ſteigern. Dies erreichte ich durch eine ſehr fein eingerichtete unifilare Suspenſion des Wagebalkens, durch das Zurückbringen der Entfernung des letzteren von der Ebene des Quadrantenkreiſes auf ein Minimum, durch die Wegnahme der oben erwähnten, die Rolle eines Dämpfers ſpielenden Platinſcheibe und durch die Erſetzung des unteren Stückes des Platindrahtes, an deſſen Ende dieſes Scheibchen befeſtigt war, durch einen haarfeinen frei ſchwebenden Platindraht, was die Verbindung zwiſchen dem Wagebalken und der Schwefelſäure wieder herſtellte. Auf dieſe Weiſe iſt dem Wagebalken die nöthige Beweglichkeit ertheilt worden.

Da bekanntlich, unter ſonſt gleichen Umſtänden, die Schnelligkeit, mit der ſich freie Elektricität im Innern einer Leydener Flaſche zerſtreut, eine Funktion der Stärke der Ladung iſt, ſo muſs man, um eine möglichſt conſtante Ladung zu erzielen, für dieſelbe möglichſt kleine Elektricitätsmengen verwenden. Die Empfindlichkeit des Apparates iſt aber von der Dichtigkeit der freien Elektricität auf dem Wagebalken abhängig. Deſshalb war es nöthig den Apparat derart zu modifiziren, daſs man die Menge der freien Elektricität im Innern der Flaſche möglichſt vermindern, gleichzeitig aber ihre Dichtigkeit möglichſt vergröſsern könnte. Das erreichte ich auf folgende Weiſe. Auf dem Boden der Leydener Flaſche des Elektrometers ſteht ein mit drei Füſsen und einer gitterartigen Oeffnung verſehener Meſſingcylinder, der offenbar nur dazu beſtimmt iſt, daſs man mittelſt des an einer Stelle ſeiner Oberfläche angebrachten Knopfes die innere Belegung der Flaſche

laden könne. Die Oberfläche dieses Cylinders (die Füsse nicht gerechnet) beträgt aber circa 466 Quadratcentimeter und die freie im Innern der Flasche vorhandene Elektricität muss sich nicht nur auf dem Wagebalken, sondern auch auf diesem Cylinder verbreiten. Ich habe ihn weggenommen. Dies hatte zur Folge, dass die Dichtigkeit der Elektricität auf dem Wagebalken bei Anwendung gleicher Ladungen jetzt in hohem Grade vergrössert wurde. War diese Vergrösserung der Dichtigkeit gleich *n* und war die ursprüngliche Dichtigkeit (als der Cylinder noch stand) für die Zwecke meiner Versuche hinreichend gross, so reichte jetzt eine *n*-mal kleinere Ladung aus. Der zweite Vortheil, den die Wegnahme des Cylinders zur Folge hatte, bestand darin, dass die Zahl der scharfen Kanten und Spitzen dadurch vermindert wurde. Um die Flasche aber laden zu können, benutzte ich einen kleinen Messingdraht, dessen eine Ende an ihre innere Belegung befestigt wurde und das andere mit einem Knöpfchen versehene Ende bis zur Oeffnung im Gehäuse hinaufreichte, welche für das Laden der Flasche bestimmt und nach dem Laden zu verschliessen ist.

Dank diesen Modifikationen konnte ich den Apparat im Winter in einem nichtgeheizten Zimmer 2—3 Stundenlang als ein fast absolut constantes Messinginstrument benutzen.

Ich will hier noch bemerken, dass wenn der Wagebalken unifilar auf einem Glas- oder Metall-Faden suspendirt ist, in welchem Falle die elastische Nachwirkung berücksichtigt werden muss, es rathsam sei, als Maas der Empfindlichkeit des Apparates nicht den Incoincidenzwinkel, sondern die Ablenkung zu nehmen, welche z. B. hervorgerufen wird durch die elektrische Spannung an einem Ende einer aus einem oder mehreren Meidingerschen Elementen bestehenden Kette, deren zweites Ende zur Erde abgeleitet wird.

3.

Um gleichzeitig Verſuche zu machen und die Stellung des Wagebalkens ableſen zu können, verband ich ein Quadrantenpaar des Elektrometers mittelſt eines 1,75 mm dicken und 2,4 Meter langen Meſſingdrahtes mit einer gut iſolirten Meſſingſcheibe, die auf dem Tiſche unter dem Fernrohr ſtand. Diese Scheibe, die ich galvanoplaſtiſch vergolden lieſs, gehörte urſprünglich einem alten Condenſator an, hatte 155 mm im Durchmeſſer und war ſorgfältig bearbeitet. Sie diente mir als der eine der beiden Körper, die ich durch Reibung in elektriſchen Zuſtand verſetzte. Dieſe Vorrichtung erwies ſich als ſehr praktiſch, da die auf der Scheibe erzeugte Elektricitätsmenge ſich bis zum Quadrantenpaare des Elektrometers verbreitete.

Als zweiten Versuchskörper wählte ich verſchiedene Holzarten, wie: Eichenholz, Ahorn, Pappel, Tannenholz. Ich lieſs aus ihnen Scheiben von 40 mm Durchmeſſer, 15 bis 20 mm Dicke und ziemlich glatten Oberflächen anfertigen, über die Richtung deren Fasern weiter unten bei jedem einzelnen Falle Erwähnung gethan werden wird.

Jede Scheibe *S* (Fig.) war mit einem U-förmigen, länglichen Gehänge *G* verſehen, welcher aus einem 0,5 bis 0,63 Meter langen und 1,5 mm dicken mit Schmirgelpapier und Alkohol gereinigten Eiſendraht beſtand und deſſen beide Enden in zwei, in entgegengeſetzte Seiten des Scheibenrandes hineingebohrte Löcher mittelſt Siegellack eingekittet waren. Die Entfernung von *a* bis *b* betrug ungefähr 0,26 Meter. An zwei Stellen hatte das Gehänge Ausbiegungen *c* und *d*, von denen die erſtere zur Befeſtigung eines haarfeinen sehr langen Platindrahtes *e* diente, welcher in Verbindung mit der Erde war und die Ableitung des Gehänges bildete. Die zweite Ausbiegung *d* diente zum Anſatz eines kleinen, gleichfalls mit Schmirgelpapier und Alkohol gereinigten Eiſenhackens *g*, der an das eine Ende eines feinen und ſehr biegſamen Fadens *h* befeſtigt war, an deſſen zweitem über eine leicht um ihre Achſe dreh-

bare Messingrolle *i* weggelegten Ende eine hölzerne Wagschale *k* hing, welche mit Gewichten belastet werden konnte. Der Träger der Rolle war aus Metall und stätig zur Erde abgeleitet.

Die obere Fläche der Holzscheibe war mit einer dünnen Schicht von Parafin bedeckt, in welche ein Gewicht *f* eingeschmolzen wurde.

Die Entfernung der vergoldeten Scheibe *S'* bis zur Achse der Rolle betrug gewöhnlich circa 0,37 Meter und konnte übrigens beliebig geändert werden. Die Lage der Rolle war aber derart gewählt, dass wenn man den Haken *g*, nachdem die Holzscheibe auf die Metallscheibe gestellt worden war, an die Ausbiegung *d* des Gehänges angesetzt hatte, der gespannte Faden eine horizontale Richtung erhielt, so dass beim Versetzen der Holzscheibe in Bewegung durch das Gewicht in der Wagschale die ziehende Kraft horizontal wirkte. Um der Holzscheibe eine nur gradlinige Bewegung zu sichern, wurde Sorge getragen, dass der Angriffspunkt (die Ausbiegung *d* des Gehänges) möglichst unweit vom Schwerpunkt der Scheibe gebracht werde. Anderseits wurde durch das relativ nicht leichte Gewicht der belasteten Holzscheibe dasselbe erzielt. Ich will noch anführen, dass der Faden von Zeit zu Zeit mit destillirtem Wasser angefeuchtet wurde.

Die von mir angestellten Versuche wurden nun folgendermassen ausgeführt. Zuerst wurde der Messinghaken *m*, der mit der Erde in Verbindung stand, an den oben erwähnten Messingdraht *l* gelegt, dessen eine Ende an die Elektrode des Elektrometers angeschraubt war. Dadurch war jetzt die Metallscheibe zur Erde abgeleitet, und jede Elektricitätsmenge, die sich auf ihr entwickeln konnte, hatte freien Abfluss. Dann wurde die Holzscheibe beim Gehänge angefasst, durch Halten über einer kleinen abgeleiteten Alkoholflamme vollkommen unelektrisch gemacht und mit grösster Vorsicht auf den linken Rand der Metallscheibe (wie auf der Fig. dargestellt ist) gelegt. Entwickelte sich beim Anlegen der Scheibe irgend eine Elektricitäts-

menge, fo war, wenigftens für einen Theil derfelben, der Weg zur Erde offen. Die Elektricität, welche fich beim Anfaffen des Gehänges mit den Fingern bildete, mufste durch den Draht *e* entweichen. Dasfelbe war auch mit der beim Anfetzen des Eifendrahtes *g* entftandenen Elektricität der Fall. Diefe hatte zum Verfchwinden aufser dem Drahte *e* noch den Weg durch den angefeuchteten Faden, die Rolle und den Rollenträger offen. Die Feuchtigkeit des Fadens hatte aber noch einen anderen Zweck als den die Elektricität, die fich etwa während der Fortbewegung der Holzfcheibe beim Reiben des Fadens um die Rolle bildete[1]), durch den feinen Platindraht oder durch die Rolle und den Träger wegzubringen. Auf diefe Weife gelang es mir die zu beobachtende Elektricitätsmenge von allen ftörenden Einflüffen zu befreien.

Im felben Augenblicke, in welchem ich die Holzfcheibe auf die Metallfcheibe gelegt, begann ich auf einem Sekundenfchläger die Zeit abzuzählen. Unterdeffen brachte ich den Eifenhaken *g* an die Ausbiegung *d*, löfte fodann (was gewöhnlich nach 30—40 Sekunden gefchah) den Meffinghaken *m* und zählte nun weiter bis 3 Minuten, um erft dann die Scheibe in Bewegung gerathen zu laffen. Ein folcher Zeitraum war erforderlich defshalb, weil bei der Wegnahme des Meffinghakens *m* (d. h. mit der Aufhebung der Verbindung der Meffingfcheibe *S'* mit der Erde) ftets eine, wenn auch fehr kleine Elektricitätsmenge erregt wird und man alfo zuerft abwarten mufs, bis diefe Menge fich zerftreut hat und der Wagebalken in Ruhe gekommen ift. Diefen Zeitraum von 3 Minuten fuchte ich bei jedem Verfuche ftets genau inne zu halten. Dazu bewog mich der Umftand, dafs man nicht a priori angeben kann ob und in wiefern die Dauer der Zeit, während welcher die Holzfcheibe auf der Metallfcheibe ruht, von

1) Auf die Entwickelung der Elektricität beim Umlaufen lederner Riemen auf metallenen Scheiben hat neulich Joulin die allgemeine Aufmerkfamkeit gewendet. Comptes rendus Bd. 67 (1868), S. 1244.

irgend einem Einflufs auf die später beim Reiben erzeugte Elektricitätsmenge ist.

Waren die 3 Minuten verflossen, so legte ich ein bereit gehaltenes hinreichend grofses Gewicht in die Wagschale, wodurch die Bewegung der Holzscheibe mit einer gleichförmig beschleunigten Geschwindigkeit eingeleitet wurde. Erreichte die Holzscheibe den anderen Rand der Metallscheibe, so blieb sie stehen, da der Abstand zwischen der Wagschale und dem Tisch *T* derart gewählt wurde, dafs mit dem Ankommen der Scheibe an die erwähnte Stelle auch die Wagschale den Tisch erreicht hatte. Bei Anwendung gröfserer Gewichte habe ich diesen Abstand sogar etwas verkleinert um die Scheibe durch Erlangung einer gröfseren Endgeschwindigkeit nicht über den Rand hinabgleiten zu lassen.

In demselben Augenblicke als die Holzscheibe zum Stillstande kam, hob ich sie mit einem Finger vorsichtig in die Höhe (ohne den Eisenhaken *g* abzunehmen) und beobachtete gleichzeitig durch das Fernrohr den ersten Ausschlag, den der Wagebalken machte. Dieser erste Ausschlag diente mir als Maas der erregten Elektricitätsmenge. Ich wählte denselben als Maas defshalb, weil — wie ich mich überzeugt habe — bei den Versuchen mit der statischen Elektricität, besonders bei Messung so kleiner Mengen, mit denen ich es zu thun hatte, von einer Bestimmung der zu beobachtenden Gröfse aus den Schwingungen des Wagebalkens um seine neue Ruhelage keine Rede sein kann. Hier auf dem Quadrantenpaare geht die Elektricitätszerstreuung ungemein rasch vor sich.

Der einzige störende Einflufs, welcher bei dieser Versuchsanordnung zur Geltung (wenn auch in einem sehr geringen Grade) kommen kann, besteht in der Entwickelung der Elektricität beim Anfassen des Gehänges mit dem Finger bei Hebung der Holzscheibe, und zwar nicht der Elektricität auf dem Drahte (die kann sich auf zweifache oben angegebene Weise entfernen), sondern der, welche auf der Epidermis des Fingers einige Zeit nach der Er-

regung ſitzen bleibt. Jedoch dieſer Einfluſs wird auf ein Minimum gebracht, erſtlich durch das vorſichtige Anlegen des Fingers von unten (das Schieben des Fingers am Drahte muſs unbedingt vermieden werden), zweitens durch die verhältniſsmäſſig groſse Entfernung der Stelle des Drahtes, wo der Finger angelegt wird, von der Metallſcheibe. Dieſe Entfernung betrug, wie oben angegeben, mehr als 0,26 Meter. Uebrigens kann die Gröſse dieſes zu befürchtenden Fehlers zu jeder Zeit experimentel beſtimmt werden.

4.

Ohne zuerſt auf das Verhalten der beim Fortgleiten der Holzſcheibe über eine gewiſſe Strecke der Metallſcheibe erzeugten, zu der beim Abheben derſelben Holzſcheibe ſich bildenden Elektricitätsmenge einzugehen, wandte ich mich vor Allem zur Prüfung des erſten PÉCLET'ſchen Geſetzes, welches der Geſchwindigkeit, mit der beide Körper aneinander gerieben werden, jeden Einfluſs auf die Erregung der Elektricität abſpricht. Bei der groſsen Schwierigkeit, vollkommen gleichartige Geſchwindigkeit herzuſtellen, muſs die Gewiſsheit von der Richtigkeit dieſes Geſetzes für alle Geſchwindigkeiten von groſser Wichtigkeit für weitere Verſuche ſein, da man in dieſem Falle die bei verſchiedenen (wenigſtens bei nicht mathematiſch gleichen) Geſchwindigkeiten angeſtellten Verſuche mit einander zu vergleichen berechtigt ſein kann.

Aus der oben beſchriebenen Anordnung war zu erſehen, daſs ich bei den Verſuchen, die ich zu dieſem Zwecke angeſtellt hatte, nicht gleichförmige, ſondern gleichförmig beſchleunigte Geſchwindigkeiten der Holzſcheibe ertheilte. Die beiden Gewichte, die ich zum Verſetzen der Holzſcheibe in Bewegung abwechſelnd benutzte, wurden gewöhnlich derart gewählt, daſs das eine von ihnen meiſtens nicht viel gröſser war als dasjenige, welches mit dem Gewichte der Holzſcheibe dividirt, dem Werthe deren Reibungscoefficientes der Ruhe, nach circa 3 Minuten

Ruhe, gleichkam; — das zweite Gewicht war ein gröſseres geweſen. Der durchlaufene Raum blieb in beiden Fällen derſelbe ($115^{mm}$).

Es ſtellten ſich ſogleich zwei Thatſachen heraus: erſtens: daſs die Erregbarkeit der Holzſcheibe nicht nur von Tage zu Tage, ſondern ſelbſt von Stunde zu Stunde variirt, und zweitens, daſs das PÉCLET'ſche Geſetz, welches dieſer Forſcher für gleichförmige, oder richtiger geſagt für nahezu gleichförmige Geſchwindigkeiten angegeben hat, für gleichförmig beſchleunigte Geſchwindigkeiten, wenn auch innerhalb gleich zu erwähnender Grenzen, ſeine Richtigkeit behauptet. Als Beweis für dieſes Ergebniſs mag nahſtehende Tabelle dienen.

## Tabelle I.

*Verſuche mit Eichenholz.*

| Nummer der Scheibe | Richtung der Faſern zur Reibungsfläche | Gewicht der Scheibe in Grammen | Empfindlichkeit des Apparates in Scalentheilen | Datum | Verſuchsreihe | Die in die Wagſchale gelegten Gewichte (das der Schale inbegriffen) in Grammen | Erregte Elektricitätsmengen im Mittel | Anzahl der Verſuche |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Parallel | 226,5 | 75 | 22. Febr. | 1 | 96,2 | 24,9 | 5 |
| | | | | | | *106,2 | 25,1 | 6 |
| | | | | 23. Febr. | 2 | 86.2 | 5,8 | 5 |
| | | | | | | *96,2 | 5,7 | 5 |
| 2. | Senkrecht | 115,65 | | | | 36,2 | 8,5 | 5 |
| | | | | | | *46,2 | 8,3 | 5 |
| 3. | Senkrecht | 220,35 | 44,5 | 12. Febr. | 1 | 71,2 | 28,9 | 10 |
| | | | | | | *86,2 | 28,3 | 12 |
| | | | | | 2 | 71.2 | 27,8 | 5 |
| | | | | | | *86,2 | 27,2 | 7 |
| | | | | 14. Febr. | 3 | 76.2 | 30,8 | 5 |
| | | | | | | *86,2 | 31,1 | 5 |
| | | | | | 4 | 76,2 | 26,2 | 10 |
| | | | | | | *86,2 | 25,7 | 10 |
| 4. | Senkrecht | 227,5 | 52,5 | | | 71,2 | 21,8 | 3 |
| | | | | | | *76,2 | 22,1 | 3 |

Die mit * bezeichneten Gewichte ſind diejenigen, welche im gegebenen Falle nicht recht überſchritten werden durften, denn wenn das zweite Gewicht dieſelben etwa um 3—8 Gramm überſtieg, ſo war die erregte Elektricitätsmenge immer kleiner; mit andern Worten, die zu groſse Geſchwindigkeit war für die Entwickelung der Elektricität nicht nur nicht begünſtigend, ſondern geradezu ſtörend.

Jedoch vermochte ich dieſe Grenzen nicht näher zu beſtimmen, da ich, wie geſagt, nicht gleichförmige, ſondern gleichförmig beſchleunigte Geſchwindigkeiten der Holzſcheibe ertheilte.

Worauf dieſe Erſcheinung beruhen mag, darüber wird weiter unten, bei Feſtſtellung der Bedingungen, unter welchen Elektricität beim Reiben zum Vorſchein kommt, die Rede ſein; an ſelber Stelle werde ich auch über die Veränderbarkeit des Erregbarkeitsvermögens der Holzſcheibe zu ſprechen Gelegenheit nehmen.

5.

Jetzt wurde ich in den Stand geſetzt, den Einfluſs des durchlaufenen Raumes und des Druckes auf die Erregung der Elektricität, ſowie das Verhältniſs zu einander derjenigen beiden Elektricitätsmengen genau zu unterſuchen, welche ſich beim Fortgleiten der Holzſcheibe auf einer gewiſſen Strecke der Metallſcheibe und der Hebung jener Scheibe bilden.

Auf die Ergebniſſe des vorigen § mich ſtützend, konnte ich ſchon bei dieſen Unterſuchungen das Verſetzen der Holzſcheibe in Bewegung durch Gewichte entbehren. Ich ertheilte der Holzſcheibe nahezu gleichförmige, möglichſt kleine Geſchwindigkeiten, indem ich die Wagſchale mit der Hand nach unten zog. Dieſes Verfahren zeigte ſich um ſo nöthiger, als daſs ich die mir zu Gebote geſtandene Strecke (115$^{mm}$) noch in drei Abtheilungen theilen muſste, und daſs es bei der Benutzung der beſchleunigten Geſchwindigkeiten kaum möglich geweſen wäre, das Ueberſchreiten der Scheibe über die gemachten Grenzen zu verhüten.

Um das Verhältniſs zwiſchen den beiden Elektricitätsmengen, die ſich bei der Hebung und beim Fortgleiten der Holzſcheibe auf einer gewiſſen Strecke der Metallſcheibe bilden, feſtzuſtellen, legte ich, nach der oben beſchriebenen Methode, die Holzſcheibe auf die Metallſcheibe, löſte dann den Meſſinghaken *m* und nach Verlauf von 3 Minuten hob ich ſie, unter gleichzeitiger Beobachtung des Ausſchlages, wieder in die Höhe. Nachdem ich ſie nun unelektriſch gemacht, legte ich ſie wieder auf, ſetzte den Eiſenhaken *g* an, um ſie nach gleicher Ruhezeit zum Fortgleiten über die ganze Metallſcheibe (115$^{mm}$) zu bringen, und, nachdem ſie den zweiten Rand der Scheibe erreichte, hob ich ſie gleichfalls, unter gleichzeitiger Beobachtung des Ausſchlages, in die Höhe.

Es ſtellte ſich heraus, daſs die Elektricitätsmenge, die ſich im erſten Falle gebildet hat, und deren Entſtehung der Wirkung der Berührung und der Reibung bei Hebung der Holzſcheibe zuzuſchreiben iſt, nur einige Prozente ausmachte von der im zweiten Falle ſich gebildeten Elektricitätsmenge, deren Entſtehung ſowohl durch beide im erſten Falle wirkenden Urſachen, wie auch durch das Reiben während des Fortgleitens auf der Strecke von 115$^{mm}$ bedingt wurde[1]). Dieſes Verhältniſs iſt nicht bei jeder Holzſcheibe dasſelbe. Bei einigen derſelben betrug die im erſten Falle erzeugte Elektricitätsmenge im Mittel etwa 5%; bei anderen Scheiben betrug ſie aber bis 13%. Offenbar hängt dieſes Verhältniſs von der individuellen Beſchaffenheit jeder einzelnen Scheibe ab.

Nun kam die Reihe an die Unterſuchung des Einfluſſes des zurückgelegten Weges auf die Gröſse der erregten Elektricitätsmenge. Dieſer Umſtand war ebenſo wie der vorher behandelte bis jetzt noch von Niemand

---

1) Möglich, daſs in dieſen beiden Fällen noch zur Geltung kömmt ein, wenn auch ſehr kleiner Bruchtheil von der Elektricitätsmenge, die ſich beim Anlegen der Holzſcheibe (in Folge des Reibens) gebildet hat und von welcher Spuren, trotz der Ableitung zur Erde, wenigſtens auf dem Holze geblieben ſein können.

unterſucht worden. Péclet konnte bei ſeiner Elektriſirmaſchine an Aenderungen der Wegelänge nicht denken.

Es ergab ſich, daſs beim gradlinigen nach einer und derſelben Richtung ſtattfindenden Fortgleiten der Holz- auf der Metallſcheibe die Bewegung nur wenige Centimeter Weges einen bedeutenden Einfluſs auf die Gröſse der erregten Elektricitätsmenge geltend macht. Stellt man die durchlaufenen Strecken durch Abſciſsen und die erregten Elektricitätsmengen durch Ordinaten dar, ſo ſind ſämmtliche Curven, die man dabei erhält, dadurch charakteriſtiſch, daſs ſie während der erſten wenigen Centimeter ſehr raſch ſteigen, ſich aber weiter aſymptotiſch zu einer der Abſciſsenachſe parallel gelegenen Graden zu nähern beginnen. Als Beiſpiel hiefür möge folgende Curve dienen, die einer Eichenholzſcheibe (Nr. 4 der Tabelle I) gehört.

### Tabelle II.

| Empfindlichkeit des Apparates in Scalentheilen | Anzahl der Verſuche | Durchlaufener Weg in Millimeter | Die erregte Elektricitätsmenge in Scalentheilen | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 52,5 | 4 | 0 | 2,1 | Die Menge, welche bei der bloſsen Hebung der Scheibe nach 3 Minuten Ruhe beobachtet wird. |
| | 4 | 33 | 11,2 | |
| | 4 | 42 | 12,5 | |
| | 4 | 115 | 13,5 | |

Auch hinſichtlich des Druckes ſtellte es ſich heraus, daſs derſelbe nur innerhalb der erſten wenigen Hundert Gramme auf die Gröſse der erregten Elektricitätsmenge von Einfluſs war.

Péclet konnte bei ſeinen Verſuchen nicht von einem geringeren Drucke als 1,2 Kilo anfangen und ſein Geſetz, welches dem Drucke (im Groſsen und Ganzen) jeden Einfluſs auf die Erregung der Elektricität abſpricht, iſt von ihm nur für einen Druck von unter 1,2 Kilo bis 10,2 Kilo aufgeſtellt worden. Er hatte jedoch die Vermuthung, daſs ein Druck von unter 1,2 Kilo nicht ohne Einfluſs

ſein könne, weil ohne Druck offenbar keine Reibung — oder, wie er ſich überall ausdrückt, keine Berührung der beiden Körper ſtattfindet[1]).

Ich ſchmolz in die Parafinſchicht der in den darauf bezüglichen Verſuchen angewandten Holzſcheiben keine Gewichte mehr ein (wie ich es in den vorangegangenen Verſuchen gethan habe), ſondern ſtatt derſelben einen Meſſingdeckel (von einem alten Fernrohr), deſſen innere Seite mit Schmirgelpapier und Alkohol gereinigt wurde. Die Gewichte wurden frei auf dieſen Deckel gelegt und ſo der Druck nach Belieben geändert. Der durchzulaufende Raum blieb derſelbe — 115$^{mm}$ —, ebenſo war die Geſchwindigkeit faſt dieſelbe und nahezu gleichförmig.

Stellt man nun den Druck, unter welchem das Reiben ſtattfand, durch Abſciſſen und die erregten Elektricitätsmengen durch Ordinaten dar, ſo erhält man eine Druckeinfluſscurve, welche analog der Wegeeinfluſscurve, zuerſt raſch in die Höhe ſteigt, dann aber ſich aſymptotiſch einer der Abſciſſenachſe parallel verlaufenden Graden nähert. Als Beiſpiel möge hier eine Curve, die einer Pappelholzſcheibe gehört, dienen. Dieſe letztere wog 43,7 Gr. Ihre Faſern waren ſenkrecht zur Reibungsfläche.

## Tabelle III.

| Belaſtung in Grammen | Geſammt-Gewicht | Erregte Elektricitäts-mengen in Scalentheilen |
|---|---|---|
| 0 | 43,7 | 11,75 |
| 50 | 93,7 | 16,25 |
| 100 | 143,7 | 17 |
| 150 | 193,7 | 17,5 |
| 200 | 243,7 | 17,5 |
| 500 | 543.7 | 20,1 |

1) »J'ai fait quelques expériences pour essayer de reconaître la loi de l'accroissement de tension en fonction de la pression, quand les charges, sont très petites, mais je n'ai obtenu que des resultats tellements discordants, que j'ai cru inutile de les raporter.« Annl. de Chimie et de Ph. Bd. 57, S. 370.

6.

Es fragte ſich nun, wie die in den vorigen §§. auseinandergeſetzten Reſultate zu discutiren und wo die Bedingungen zu ſuchen ſind, unter welchen — wenn man von der chemiſchen Verſchiedenheit der beiden ſich aneinander reibenden Körper abſieht — die Elektricität zum Vorſchein kommt?

Aus den Thatſachen, daſs der Druck nur innerhalb der Grenzen der erſten wenigen hundert Gramme und daſs der zurückgelegte Weg nur während der erſten wenigen Centimenter von groſsem Einfluſs auf die Gröſse der Elektricitätsmenge iſt, welche ſich beim gradlinigen, nach einer und derſelben Richtnng ſtattfindenden Fortgleiten einer Holzſcheibe auf der Metallſcheibe bildet, — geht klar hervor, daſs für jede Holzſcheibe ein Maximum bezüglich der zu erregenden Elektricitätsmenge exiſtirt, welches man nicht überſchreiten kann, ſo lange die zuletzt erwähnte Bedingung (d. h. das gradlinige Fortgleiten der Holzſcheibe nach der einen und derſelben Richtung) unverändert dieſelbe bleibt.

Dieſes Maximum der elektriſchen Erregbarkeit iſt aber bei jeder Holzſcheibe ſehr groſsen Aenderungen unterworfen. Ich habe ſchon bei der Beſprechung der Verſuche über den Einfluſs der Geſchwindigkeit auf die Gröſse der erregten Elektricitätsmenge erwähnt, daſs die Erregbarkeit der Holzſcheiben nicht nur von Tag zu Tag, ſondern von Stunde zu Stunde variirt und auf der Tabelle I habe ich ein klares Beiſpiel ähnlicher Aenderungen angeführt. Die dort unter Nr. 1 angeführte Eichenholzſcheibe, deren Erregbarkeit am 22. Februar $\frac{24{,}9 + 25{,}83}{2} = 25{,}36$ Scalentheile betrug, zeigte nach etwa 24 Stunden (ohne während dieſer Zeit gebraucht geworden zu ſein, bei derſelben Empfindlichkeit des Apparates nur eine Erregbarkeit von $\frac{5{,}8 + 5{,}7}{2} = 5{,}75$ Scalentheilen. Es muſs hervorgehoben werden, daſs die Scheibe nicht etwa durch

Berührung mit irgend einem anderen Körper ihre Erregbarkeit verloren haben könnte, da ich die Scheibe nie auf irgend einen Körper geſtellt, ſondern nach Schluſs eines jeden Verſuches ſie jedes Mal auf einen in die Wand geſchlagenen Nagel aufhing[1]).

Dieſe Aenderungen der Erregbarkeit gehen nicht immer in einem und demſelben Sinne vor ſich. Sie kann ebenſowohl ſteigen als ſinken. Bei längerem Gebrauche der Holzſcheibe nimmt ſchlieſslich in den meiſten Fällen das Sinken die Oberhand. Bleibt aber nachher die Scheibe einige Tage unberührt, ſo kommt es oft vor, daſs ihre faſt auf Null herabgefallen geweſene Erregbarkeit wieder ſteigt.

Da ich die Urſache dieſer Aenderung offenbar nicht in den Aenderungen der chemiſchen Verſchiedenheit der Körper zu ſuchen hatte, ſo war ſie in den phyſikaliſchen Eigenſchaften der beiden ſich aneinander reibenden Flächen zu ſuchen und namentlich in der Beſchaffenheit der Reibfläche der Holzſcheiben, da die vergoldete Metallſcheibe binnen der ganzen Dauer meiner Unterſuchungen ſich faſt gar nicht verändert hat. Ihr Glanz und Spiegeligkeit ſind faſt dieſelben geblieben.

Ich bemerkte alsbald, daſs die Erregbarkeit der Holzſcheibe immer mit der Zunahme der Glätte deren Reibfläche ſank. War die Scheibe ſorgfältiger bearbeitet oder wurde ſie durch längeren Gebrauch glätter, ſo zeigte ſie meiſtens eine ſehr geringe Erregbarkeit. Es genügte aber die Reibfläche mit dem Raſpel rauh zu machen, um für eine Reihe von Verſuchen ihr eine viel gröſsere Erregbarkeit zu ertheilen. Als ein Beiſpiel führe ich eine Ahornſcheibe an, deren Faſern ſenkrecht zur Reibungsfläche ſtanden und deren Gewicht 81,2 Gramm betrug. Ihre Erregbarkeit betrug gleich nachdem ſie angefertigt worden iſt, am 10. Februar (bei einer Empfindlichkeit von 74,5 Sca-

1) Bei allen in dieſem § beſprochenen Verſuchen wurde die Holzſcheibe durch Auflegen von Gewichten auf die Wagſchale in Bewegung verſetzt.

lentheilen) 19,25 Scalentheile. Nach 14 Versuchen sank sie bis auf 14,5 Scalentheile herab. Am 11. Februar, nachdem ich sie mit dem Raspel gerieben hatte und dann vollkommen unelektrisch gemacht, betrug ihre Erregbarkeit bei derselben Empfindlichkeit während der ersten 5 Versuche 54,8 Scalentheile. Aber schon beim 8. Versuche betrug sie wieder nur 35,5, beim 10. 30,2 und beim 12. sank sie bis auf 21,1 Scalentheile herab. Nachdem ich sie jetzt wieder mit dem Raspel gerieben und dann vollkommen unelektrisch gemacht, fand ich ihre Erregbarkeit wieder auf 41,9 gestiegen.

Allerdings zeigt nicht jede Scheibe so auffallend grosse Aenderungen, wie die hier angeführte. Manche Eichenholzscheiben mit den zur Reibungsfläche senkrecht stehenden Fasern änderten ihre Erregbarkeit nur sehr langsam. Sie waren aber meistens an sich schon schwach erregbar und hart.

Sämmtliche eben angeführten Erscheinungen finden in der eigenthümlichen Beschaffenheit der Holzfläche ihre völlige Aufklärung. Schon DE LA HIRE[1]) und COULOMB[2]) lenkten die allgemeine Aufmerksamkeit darauf, dass die Oberflächen der Hölzer mit kleinen haarichten elastisch biegsamen Fasern bedeckt sind, welche borstenartig vorstehen und sich nach jeder Richtung gleichmässig biegen lassen. Die Oberflächen der Metalle bestehen dagegen aus kleinen eckigen oder sphärischen Unebenheiten, die an sich hart und unbiegsam ihre Gestalt nicht leicht ändern können. Darauf hin stellte COULOMB eine physikalische Theorie der Reibung auf, durch welche alle Phänomene der Reibung sich mit Leichtigkeit erklären lassen.

Dass die Anwesenheit dieser haarichten borstenartig vorstehenden Fasern die Hauptbedingung der Erregbarkeit der Holzscheiben ist, konnte ich mich durch folgende

1) Histoire de l'Academie royale des sciences. Année 1699. 3e edition (1782) p. 104.

2) Memoires de Mathematique et physique présentés à l'Academie. Tome 10 (1785) p. 254.

direkte Verſuche[1]) überzeugen. Ich ließs zuerſt ein Brett ſorgfältig an beiden Seitenflächen hobeln und dann mittelſt einer feinen Säge aus demſelben die Scheiben ausſägen. Die Kanten der auf dieſe Weiſe angefertigten Holzſcheibe ſind natürlich ſcharf und mit vielen oben beſchriebenen Unebenheiten bedeckt. Eine ſolche Scheibe iſt im höchſten Grade erregbar. Es genügt aber, die Kanten mit einem ſcharfen Raſirmeſſer abzuſchneiden, um ihre Erregbarkeit oft auf die Hälfte herabzuſetzen. Ja, die Anweſenheit dieſer Unebenheiten an den Kanten ſpielt in der Erregbarkeit der Holzſcheiben eine ſo wichtige Rolle und giebt Veranlaſſung zu ſo groſsen Unregelmäſsigkeiten, dass, wenn man regelmäſsige Reſultate erhalten will, ſie zuerſt mit einem ſcharfen Inſtrumente entfernen muſs.

Bei allen meinen Verſuchen war jede Holzſcheibe — wie man es deutlich aus der Fig. ſieht — immer in eine und dieſelbe Richtung in Bewegung verſetzt (d. h. bei der Bewegung ging immer ein und derſelbe Punkt des Randes der Holzſcheibe voran). Es iſt klar, daſs bei dieſer Verſuchsanordnung ſämmtliche vorragende Theile der Reibfläche allmälig ſich entweder losreiſsen oder biegen und in der Bewegung entgegengeſetzter Richtung niederlegen muſsten. Dadurch wurde die Scheibe immer glätter und es ragten immer weniger und weniger kleine haarichte borſtenartige Faſern hervor, was das Sinken der Erregbarkeit der Scheibe zur Folge haben muſste. Waren die meiſten von dieſen Faſern beim Gebrauche abgeriſſen, ſo muſste die Erregbarkeit der Scheibe dauerhaft ſinken, waren ſie aber umgebogen und niedergelegt, ſo konnten ſie nach einiger Zeit, in Folge ihrer Elaſticität, wenigſtens theilweiſe ſich wieder aufrichten, was wieder ein Steigen der Erregbarkeit der Holzſcheibe bedingen konnte. War die Holzſcheibe mit dem Raſpel gerieben, ſo wurden dadurch in Folge des Zerreiſsens vieler Faſern jetzt neue

1) Zu dieſen Verſuchen eignen ſich am beſten Scheiben, deren Faſern parallel zur Reibungsfläche laufen.

haarichte, borstenartig vorstehende Unebenheiten geschaffen, was die Erregbarkeit der Scheibe sofort erhöhen muſste.

Wie man sieht, finden alle Erscheinungen, die ich beobachtet, in dieser Theorie eine vollständige Erklärung.

Auſser diesem mechanischen Wege können noch auf andere Weise wesentliche Veränderungen in dem Zustande der Reibfläche entstehen und namentlich neue Unebenheiten auftreten. Die Scheibe bleibt nämlich der Wirkung der Luft ausgesetzt, dessen hygrometrischer Zustand Aenderungen unterworfen ist. Der Wasserdampf der Luft und anderseits die Dämpfe, die beim Unelektrischmachen der Scheibe auf ihr, wenn auch in einer sehr kleinen Menge[1]), sich absetzen, können nicht ohne Einfluſs auf die Rauhigkeit der Fläche bleiben. Sie werden mit der Zeit von den haarichten Fasern eingesaugt, die dadurch sich ausdehnen und, wenn sie später austrocknen, in ihre ursprüngliche Lage nicht mehr zurücktreten.

Was den störenden Einfluſs der Geschwindigkeit, mit der die Holzscheibe auf der Metallscheibe fortgleitet, auf die Erregbarkeit der ersteren anbetrifft, so läſst sich diese Erscheinung ganz leicht durch die Annahme erklären, daſs beim Erlangen einer gröſseren Geschwindigkeit die Holzscheibe nicht sofort auf der Metallscheibe aufliegt und daſs dadurch die Unebenheiten der beiden Scheiben nicht so tief in einander greifen, wobei die kleineren von ihnen unerregt bleiben.

Ich will hier noch einer Erscheinung Erwähnung thun, die scheinbar in einem Widerspruche mit den auseinander-

---

1) Daſs diese Mengen des Wasserdampfes bei meinen Versuchen in der That nur sehr klein waren, konnte ich mich dadurch überzeugen, daſs sie die Erregbarkeit sofort nicht beeinfluſsten, während, wenn sie groſs wären, sie die Erregbarkeit der Scheibe sofort würden fast auf Null herabsetzen müssen, da eine nasse Scheibe fast unerregbar ist. Bei manchen Tannenholz- und Pappelscheiben (mit senkrechter Richtung der Fasern), die nach jedem Versuche auch unelektrisch gemacht werden, habe ich binnen einer Reihe von 10—20 Versuchen nicht nur nicht ein Sinken, sondern ein Steigen der Erregbarkeit manchmal sogar auf 50% und mehr beobachtet.

gesetzten Ergebnissen steht. Nimmt man nämlich eine Holzscheibe in die Hand und reibt sie, ohne irgend eine Regelmäfsigkeit zu beobachten, unter heftigem Hin- und Herführen und starkem Andrücken an die Metallscheibe, so bekommt man eine Elektricitätsmenge, die viel beträchtlicher ist als diejenige, welche man, bei der Auswahl der günstigsten Bedingungen für dieselbe Scheibe, nach der von mir benutzten Methode bekommt. Diese Erscheinung läfst sich aber ungemein leicht erklären.

Wie ich es überall oben betont, beziehen sich die von mir gewonnenen Ergebnisse auf den Fall, wenn die Scheibe sich gradlinig fortbewegt und wenn die Richtung der Bewegung unverändert bleibt. Bei der Bewegung dieser Art werden bald sämmtliche haarichte borstenartig vorstehende Fasern nach der der Richtung der Bewegung entgegengesetzten Seite umgebogen und folglich wird die Erregbarkeit der Scheibe herabgesetzt. Zieht man aber die Scheibe heftig hin und her, so werden dadurch sämmtliche umgebogene Fasern mehr oder weniger aufgerichtet, was das Steigen der Erregbarkeit der Holzscheibe oder das Steigen des Maximums der zu erregenden Elektricitätsmenge für diesen Fall zur Folge haben mufs.

An der Zunahme dieses Maximums im vorliegenden Falle nehmen aber noch zwei folgende Vorgänge Theil: erstlich eine gröfsere Betheiligung der Kanten der Holzscheibe und zweitens das Steigen der Temperatur der letzteren in Folge der Reibung.

Was den ersten Vorgang anbetrifft, so habe ich bereits erwähnt, dafs bei den Versuchen, die ich in dieser Abhandlung beschrieben habe, alles gethan war um die Kanten in die Wirkung nicht zu ziehen. Die Holzscheibe war immer vorsichtig mit der ganzen Fläche auf die Metallscheibe gelegt und ebenso vorsichtig mit der ganzen Fläche auf einmal gehoben. Die ziehende Kraft wirkte horizontal. Beim heftigen Hin- und Herbewegen dagegen concentriren wir jedesmal bei Aenderung der Richtung der Bewegung den ganzen Druck, mit welchem die Scheibe geschoben

wird, unwillkürlich auf den Rand, welcher nach der Richtung liegt, nach welcher jetzt die Bewegung ſtattfinden wird. Daſs wir in dieſem Falle die Unebenheiten, welche auf der Kante des Randes vorhanden ſind, tiefer als ſonſt in die Unebenheiten des Metalls eingreifen laſſen, liegt auf der Hand.

Die Wärme, die ſich bei dem heftigen Hin- und Herbewegen der Scheibe entwickelt, entfernt die auf ihrer Reibfläche vorhandenen Waſſerdämpfe und erhöht dadurch ihre Erregbarkeit. Daſs das letzte wirklich ſtattfindet, konnte ich mich durch ſolgende Verſuche überzeugen. Sank die Erregbarkeit einer Holzſcheibe nicht durch das Eintreten der Glätte, ſondern durch das Vorhandenſein der Waſſerdämpfe auf der Reibfläche, ſo gelang es mir manchmal, ihre Erregbarkeit zu vergröſsern, wenn ich ſie unter etwas feſtem Andrücken, immer nach einer Richtung hin, einige Mal an die Metallſcheibe gerieben habe.

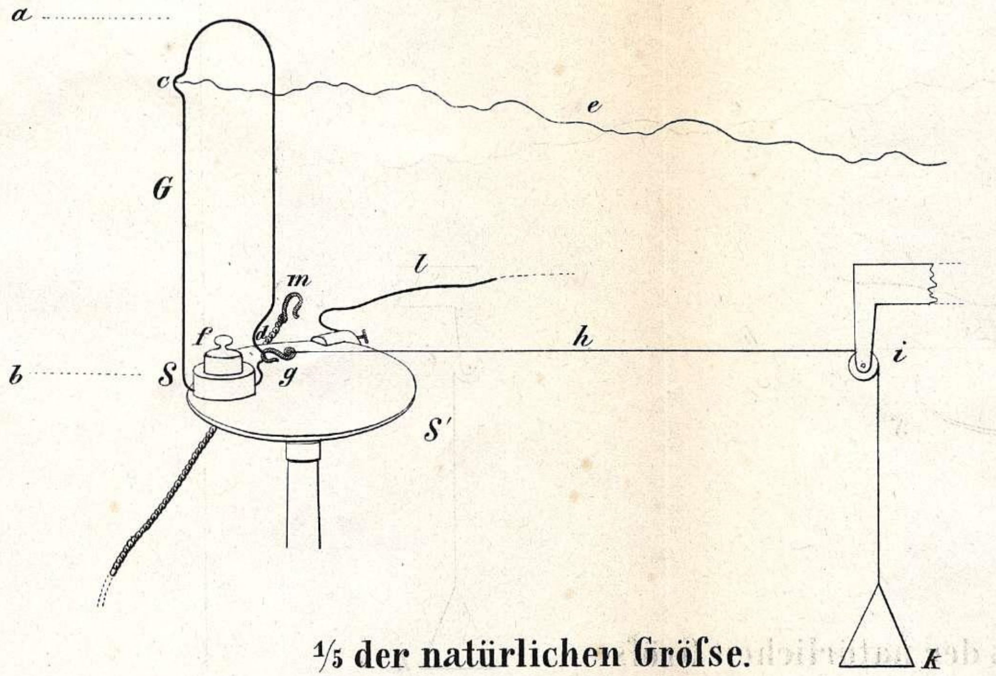
---

Sehr wünſchenswerth wäre es, die Richtigkeit der von mir entwickelten Theorie der Erregbarkeit der Körper auch an anderen Iſolatoren zu prüfen und zu ſehen, ob auch bei ihnen die Rauhigkeit der Fläche die Hauptbedingung der Erregbarkeit ſei. Bei der Anordnung meiner Verſuche war das Experimentiren mit Iſolatoren, welche entweder härter oder weicher als Holz waren, nicht möglich. Die härteren Körper, wie Hartkautſchuk oder Siegellack, kratzen die vergoldete Scheibe, bedecken ſich an den am meiſten erregbaren Punkten mit dem abgeriſſenen Golde, verlieren dadurch ſehr bald ihre Erregbarkeit und entziehen dem Verſuche jede Sicherheit. Die weichen Iſolatoren wie der Parafiin u. dgl. führen ein gleiches Reſultat herbei, indem ſie die Goldfläche ſehr bald beſchmutzen und dadurch das Reiben des Iſolators an das Metall unmöglich machen.

Ich finde aber eine weſentliche Unterſtützung für meine Anſchauung in der Thatſache, daſs ſämmtliche am leich-

teſten erregbare Körper gerade mit haarichten borſtenartig vorſtehenden Faſern bedeckt ſind, die, wie ich es in dieſer Abhandlung nachgewieſen habe, die Hauptbedingung der Erregbarkeit der Holzflächen bilden. In dieſer Hinſicht brauche ich nur an Seide, Wolle, verſchiedene Pelzarten, Haare, Federkiele, nicht geleimtes Papier zu erinnern. Sämmtliche dieſe Körper ſind, bekanntlich, eminent erregbar und ich zweifle nicht, daſs beim Reiben dieſer Körper an Metall ſich viel mehr Elektricität entwickeln werde als wenn man Glas, Harz, Wachs und Siegellack an Metall reiben wird.

München, Mai 1873.




1/5 der natürlichen Gröſse.

T